환율의 통화론적 접근법에 기반한 원/달러 환율의 장·단기 결정요인 분석: VAR–VECM 접근

March 29, 2026

Abstract

본 연구는 Frenkel(1976) 및 Bilson(1978)이 제시한 환율의 통화론적 접근법(Monetary Approach to Exchange Rate)을 이론적 토대로, 원/달러 환율의 장·단기 결정요인을 실증적으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 한국과 미국의 통화공급(M2), 국민총소득(GNI), 정책금리를 사용하여 상대적 통화량, 상대적 소득, 금리 격차를 구성하고, Johansen 공적분 검정 및 벡터오차수정모형(VECM)을 추정하였다. 통화량 계수에 대한 장기 제약($\beta_m = 1$)을 부과한 축소 3변수 시스템에서 공적분 랭크 $r = 1$이 확인되었으며, 추정된 오차수정항 계수는 환율이 장기균형으로 수렴하는 메커니즘을 실증적으로 뒷받침한다. 충격반응함수, 분산분해, Granger 인과 분석을 통해 각 거시경제 변수가 환율 변동에 미치는 동태적 기여를 규명하였다.

핵심어: 통화론적 접근법, 환율 결정, 벡터오차수정모형, 공적분, 충격반응함수

Contents

1 서론 **3**

2 데이터 및 변수 구성 **3**

3 단위근 검정 **4**

4 VAR 사전 분석 **5**

4.1 시차 선택 5

4.2 VAR 잔차 진단 5

4.3 VAR 충격반응함수 및 분산분해 5

4.4 VAR 안정성 6

5 공적분 검정 **6**

5.1 Johansen 검정 (4변수) 6

5.2 통화론적 제약: $\beta_m = 1$ 7

5.2.1 Engle–Granger 검정 7

5.2.2 축소 3변수 Johansen 검정 8

6 VECM 추정 **8**

6.1 공적분 벡터 및 장기 균형 9

6.2 조정 계수 ($\boldsymbol{\alpha}$) 9

6.3 VECM 잔차 진단 9

6.4 방정식별 적합도 10

7 Granger 인과 검정 (VECM) **10**

8 충격반응함수 **11**

9 분산분해 **12**

10 오차수정항 (ECT) **12**

11 예측 **13**

12 실제 환율 vs 모형 적합 **13**

13 통계적 유의성 종합 판정 **15**

14 결론 **15**

참고문헌 **16**

1 서론

환율의 결정요인에 관한 연구는 국제금융론의 핵심 주제 중 하나로, 1970년대 브레튼우즈 체제 붕괴 이후 변동환율제의 확산과 함께 활발히 전개되어 왔다. 초기 연구로서 Frenkel(1976)과 Bilson(1978)은 화폐수량설에 기초한 신축가격 통화모형(flexible-price monetary model)을 제시하였으며, 이후 Dornbusch(1976)는 가격의 경직성을 도입한 오버슈팅 모형을 통해 환율의 단기 과잉 변동을 설명하였다. 통화론적 접근법은 양국의 통화공급, 소득, 금리 등 거시경제 기초변수(fundamentals)로부터 환율의 장기 균형을 도출한다는 점에서 이론적 간명성과 실증적 검증 가능성을 겸비하고 있다.

구체적으로, 통화론적 접근법의 기본 모형은 다음과 같이 정식화된다:

$$s_t = (m_t - m_t^*) - \varphi(y_t - y_t^*) + \lambda(i_t - i_t^*) \tag{1}$$

여기서 $s_t = \ln(\text{USD/KRW})$는 원/달러 환율의 로그값, $m_t - m_t^*$는 양국 통화공급(M2)의 로그 차, $y_t - y_t^*$는 양국 소득(GNI)의 로그 차, $i_t - i_t^*$는 양국 금리 격차를 나타낸다. 이론적으로 $\varphi > 0$은 화폐수요의 소득탄력성에 대응하며, $\lambda > 0$은 금리가 상승할 때 자국 화폐에 대한 수요가 감소하여 환율이 절하됨을 시사한다.

그러나 환율 및 거시경제 시계열이 대부분 단위근을 보유하는 비정상(nonstationary) 과정이라는 사실은 전통적 회귀분석의 적용을 제약한다. Engle and Granger(1987) 이래 공적분(cointegration) 분석이 비정상 시계열 간의 장기 균형 관계를 식별하는 표준적 방법론으로 자리잡았으며, Johansen(1988, 1991)의 다변량 공적분 검정 및 벡터오차수정모형(VECM)은 장기와 단기 동학을 통합적으로 추정할 수 있는 체계를 제공한다.

본 연구는 이러한 방법론에 기반하여 원/달러 환율의 결정요인을 실증적으로 분석한다. 분석 기간은 2000Q3부터 2025Q3까지이며, 총 101개의 분기별 관측치를 사용하였다. 제2절에서는 사용 데이터와 변수 구성을, 제3절에서는 단위근 검정 결과를 제시하고, 제4절에서 VAR 사전 분석, 제5절에서 공적분 검정, 제6절에서 VECM 추정 결과를 보고한다. 제7–11절에서는 Granger 인과, 충격반응, 분산분해, 오차수정항, 예측 결과를 논의하며, 최종적으로 모형의 통계적 유의성을 종합 평가한 후 결론을 도출한다.

2 데이터 및 변수 구성

본 연구에서 사용하는 데이터는 한국은행 경제통계시스템(ECOS) 및 미국 연방준비제도(FRED)에서 수집한 분기별 시계열로 구성된다. 통화공급은 광의통화(M2)를, 소득 변수는 국민총소득(GNI)을 대리변수로 채택하였으며, 금리는 한국의 기준금리와 미국의 실효연방기금금리(EFFR)를 사용하였다. 환율 및 통화공급, 소득 변수는 로그 변환하여 분석에 투입하였다. 표 1에 각 변수의 정의와 출처를 정리하였다.

Table 1: 사용 변수 및 출처

변수	정의	출처
s_t	$\ln(\text{USD/KRW})$	한국은행
$m_t - m_t^*$	$\ln$(한국 M2) $-$ $\ln$(미국 M2)	한국은행, FRED
$y_t - y_t^*$	$\ln$(한국 GNI) $-$ $\ln$(미국 GNI)	한국은행, FRED
$i_t - i_t^*$	한국 기준금리 $-$ 미국 EFFR	한국은행, FRED

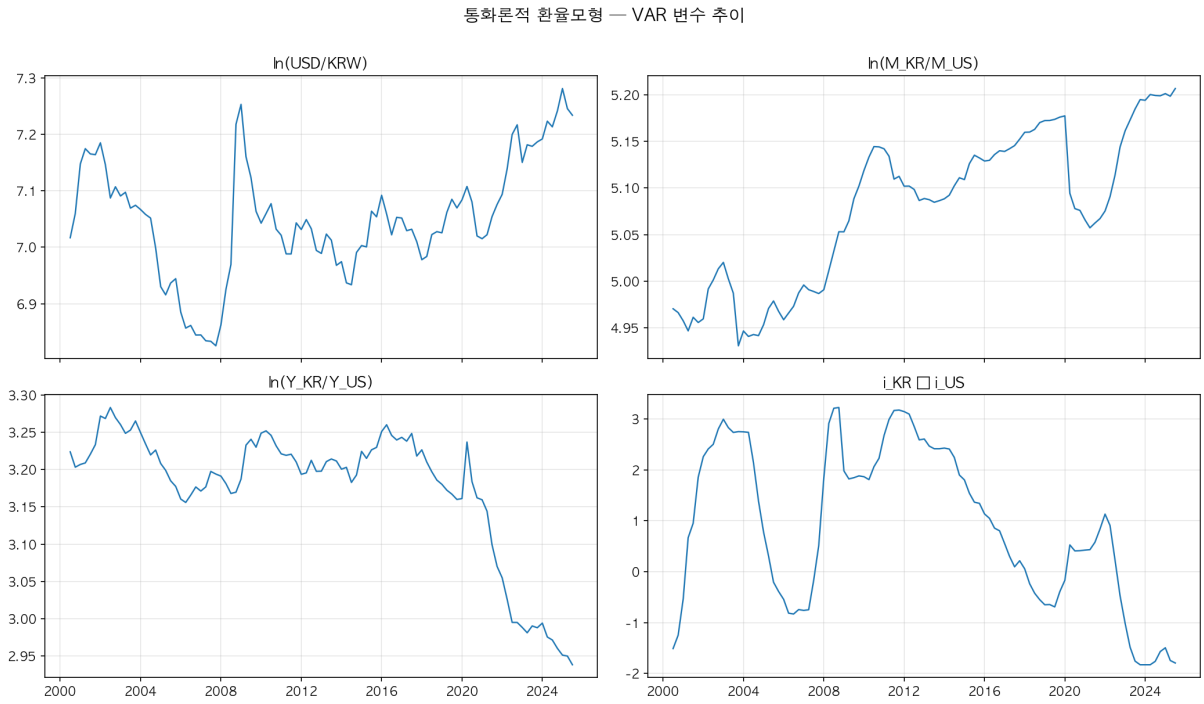

Figure 1: 분석 변수 시계열 추이

3 단위근 검정

시계열 분석에서 변수의 적분 차수(order of integration)를 사전에 파악하는 것은 모형 설정의 전제 조건이다. 본 연구에서는 ADF(Augmented Dickey–Fuller) 검정을 적용하여 각 변수의 단위근 보유 여부를 판별하였다 (Dickey and Fuller, 1979). 시차는 AIC 기준으로 자동 선택하였다.

Table 2: ADF 단위근 검정 결과

변수	ADF 통계량	p-value	1% CV	5% CV	10% CV
$\ln(\mathrm{USD/KRW})$	-2.3738	0.1493	-3.4982	-2.8912	-2.5826
$\ln(\mathrm{M}_K R/M_U S)$	-1.1424	0.6979	-3.4982	-2.8912	-2.5826
$\ln(\mathrm{Y}_K R/Y_U S)$	0.8774	0.9928	-3.4975	-2.8909	-2.5824
$\mathrm{i}_K R\text{-}i_U S$	-2.6030	0.0924*	-3.4982	-2.8912	-2.5826
$\Delta\ln(\mathrm{USD/KRW})$	-5.5035	0.0000***	-3.5004	-2.8922	-2.5831
$\Delta\ln(\mathrm{M}_K R/M_U S)$	-7.0768	0.0000***	-3.4982	-2.8912	-2.5826
$\Delta\ln(\mathrm{Y}_K R/Y_U S)$	-9.0577	0.0000***	-3.4982	-2.8912	-2.5826
$\Delta\mathrm{i}_K R\text{-}i_U S$	-5.0999	0.0000***	-3.4996	-2.8918	-2.5829

주: ***, **, * 는 각각 1%, 5%, 10% 유의수준.

모든 수준변수가 단위근을 가지며($I(1)$), 1차 차분 후 정상성을 확보한다. 이는 변수들 간에 공적분 관계가 존재할 수 있음을 시사하며, 비정상 변수의 선형 결합이 정상적일 가능성을 검토할 근거를 제공한다.

4 VAR 사전 분석

VECM 추정에 앞서, 수준 변수에 대한 VAR(Vector Autoregression) 모형을 사전 분석(preliminary analysis)의 목적으로 추정하였다. VAR 모형은 적절한 시차 선택, 잔차 진단, 및 시스템 안정성 검증에 활용된다.

4.1 시차 선택

다양한 정보 기준(AIC, BIC, HQIC, FPE)을 비교한 결과, AIC 기준 최적 시차 12을 채택하였다. AIC는 모형의 적합도와 파라미터 수의 균형을 고려하는 기준으로서, 비정상 시계열의 동학을 충분히 포착하는 데 적합하다.

4.2 VAR 잔차 진단

Table 3: VAR 잔차 진단

방정식	Durbin–Watson	Jarque–Bera (p)
ln(USD/KRW)	2.0172	71.03 (0.0000)***
$\ln(\mathrm{M}_K R/M_U S)$	1.9563	426.14 (0.0000)***
$\ln(\mathrm{Y}_K R/Y_U S)$	1.9313	569.00 (0.0000)***
$\mathrm{i}_K R - i_U S$	2.0044	8.60 (0.0136)**

4.3 VAR 충격반응함수 및 분산분해

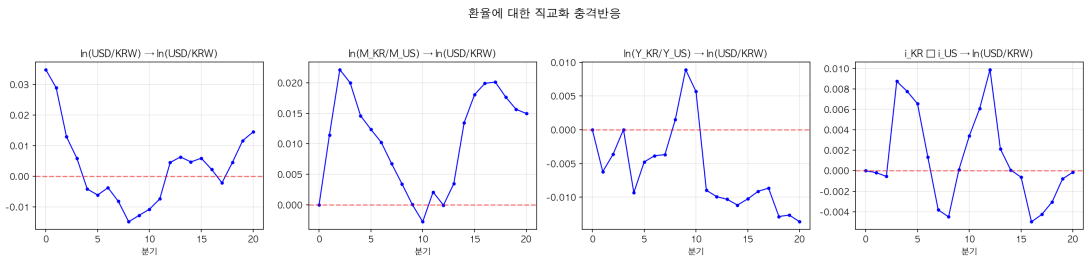

Figure 2: 환율에 대한 직교화 충격반응함수 (VAR)

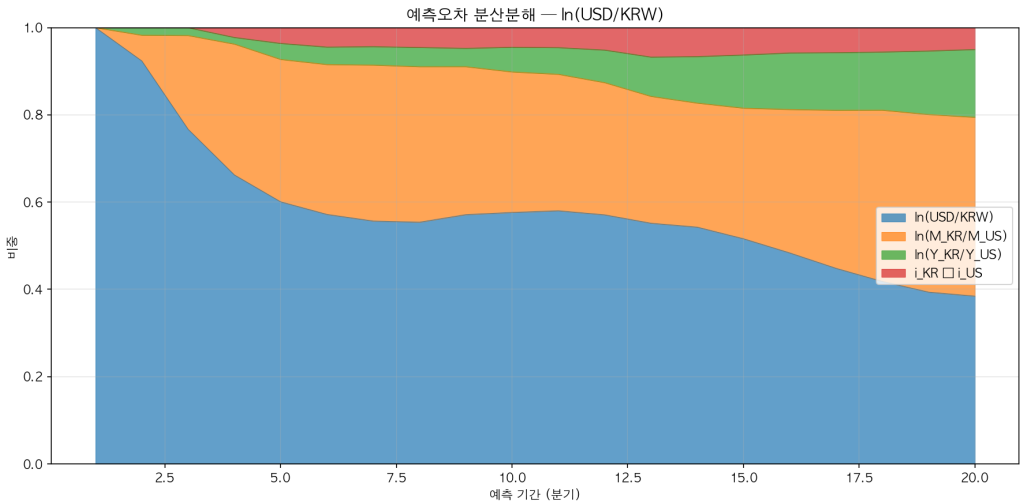

Figure 3: 환율 예측오차 분산분해 (VAR)

4.4 VAR 안정성

VAR(12) 모형의 역근(inverse root) 최대 절대값은 1.7511이다. 일부 역근이 단위원 외부에 위치하며, 이는 공적분 관계를 시사한다.

5 공적분 검정

ADF 검정에서 모든 변수가 $I(1)$임이 확인되었으므로, 변수들 간의 장기 균형 관계 존재 여부를 Johansen(1988, 1991)의 다변량 공적분 검정으로 검증하였다. Johansen 검정은 Trace 통계량과 Maximum Eigenvalue 통계량에 기반하여 공적분 랭크를 식별한다.

5.1 Johansen 검정 (4변수)

우선 원래 4변수 시스템 $[s_t,\ m_t - m_t^*,\ y_t - y_t^*,\ i_t - i_t^*]$에 대해 Johansen 검정을 실시하였다. 결정적 항의 설정은 공적분 벡터 내 상수항 제한으로 하였다.

Table 4: Johansen 공적분 검정 (4변수, $k_{ar} = 11$, 상수항 제한)

H_0	Trace 통계량	95% CV	Max-Eigen 통계량	95% CV
$r \leq 0$	104.9413**	47.8545	58.6514**	27.5858
$r \leq 1$	46.2899**	29.7961	28.8812**	21.1314
$r \leq 2$	17.4087**	15.4943	9.8065	14.2639
$r \leq 3$	7.6023**	3.8415	7.6023**	3.8415

주: ** 는 5% 유의수준에서 귀무가설 기각.

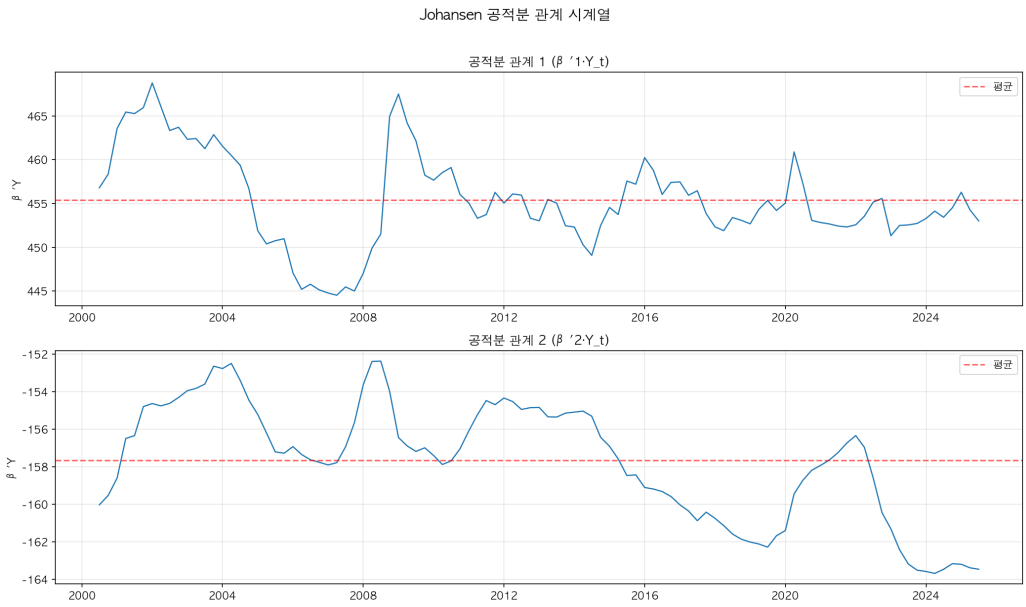

Figure 4: Johansen 공적분 관계 시계열

5.2 통화론적 제약: $\beta_m = 1$

통화론적 접근법의 핵심 함의는 양국 통화공급의 상대적 변화가 환율에 1대 1로 전가된다는 것이다 (Frenkel, 1976). 이 제약을 부과하여 $z_t = s_t - (m_t - m_t^*)$를 정의하고, 축소된 3변수 시스템 $[z_t,\ y_t - y_t^*,\ i_t - i_t^*]$에 대해 공적분 검정을 수행하였다. 이러한 제약은 모형의 자유도를 줄여 추정 효율성을 높이는 동시에, 이론적 정합성을 확보하는 이점이 있다.

5.2.1 Engle–Granger 검정

$$z_t = +2.9160 - 0.3015(y_t - y_t^*) + 0.0165(i_t - i_t^*) + \hat{u}_t \tag{2}$$

Table 5: Engle–Granger 1단계 OLS 및 2단계 잔차 ADF

	계수	표준오차	t	p-value
상수항 c	+2.9160	0.4792	6.086	0.0000***
$y - y^*$	-0.3015	0.1524	-1.978	0.0507*
$i - i^*$	+0.0165	0.0087	1.905	0.0597*
R^2				0.0448
2단계: 잔차 ADF 검정				
ADF 통계량				-2.9384
p-value				0.0411**

5.2.2 축소 3변수 Johansen 검정

Table 6: Johansen 검정 (3변수: z, $y - y^*$, $i - i^*$, $k_{ar} = 11$)

H_0	Trace	95% CV	Max-Eigen	95% CV
$r \leq 0$	29.0423**	24.2761	20.1017**	17.7961
$r \leq 1$	8.9406	12.3212	8.2149	11.2246
$r \leq 2$	0.7257	4.1296	0.7257	4.1296

3변수 시스템에서 Trace 및 Maximum Eigenvalue 통계량 모두 공적분 랭크 $r = 1$을 지지하여, 통화론적 제약 하에서도 장기 균형 관계가 존재함을 확인하였다. 이는 VECM 추정의 어론적 근거를 제공한다.

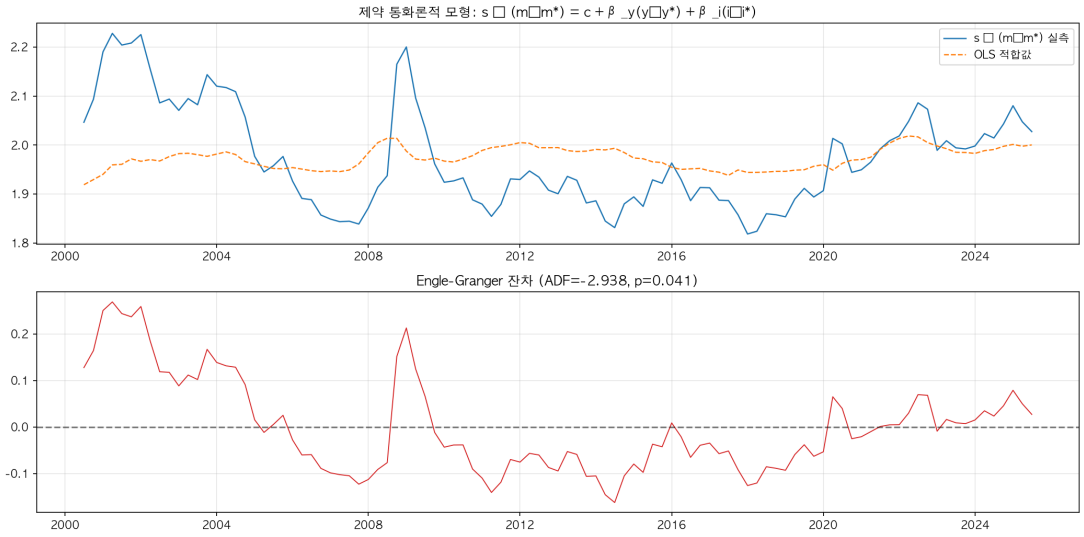

Figure 5: 제약 통화론적 모형: OLS 적합 및 Engle–Granger 잔차

6 VECM 추정

앞서 확인된 공적분 랭크 $r = 1$에 기반하여, 제약 통화론적 모형의 3변수 시스템에 대해 벡터오차수정모형(VECM)을 추정하였다. 공적분 랭크 $r = 1$, 시차 $k = 11$, 결정적 항은 공적분 벡터 내 상수항 제한(deterministic="ci")으로 설정하였다. 이는 장기 균형에 절편(intercept)이 포함되되, 변수 자체에는 추세가 없는 가정을 반영한다 (Johansen, 1995).

$$\Delta \mathbf{Y}_t = \boldsymbol{\alpha}\boldsymbol{\beta}' \mathbf{Y}_{t-1} + \sum_{i=1}^{11} \boldsymbol{\Gamma}_i \Delta \mathbf{Y}_{t-i} + \boldsymbol{\varepsilon}_t \tag{3}$$

여기서 $\mathbf{Y}_t = [z_t,\ y_t - y_t^*,\ i_t - i_t^*]'$이고 $z_t = s_t - (m_t - m_t^*)$이다.

6.1 공적분 벡터 및 장기 균형

Table 7: 공적분 벡터 ($\boldsymbol{\beta}$) 추정 결과

	계수	표준오차	z	p-value
$z = s - (m - m^*)$	+1.0000	0.0000	0.000	0.0000***
$y - y^*$	+0.3830	0.1828	2.096	0.0361**
$i - i^*$	+0.0446	0.0107	4.155	0.0000***
상수항 c	-3.2130	0.5809	-5.531	0.0000***

추정된 장기 균형 관계는 다음과 같다:

$$s_t = (m_t - m_t^*) - 0.3830(y_t - y_t^*) - 0.0446(i_t - i_t^*) - 3.2130 \tag{4}$$

소득 탄력성 $\varphi = -0.3830$, 금리 반탄력성 $\lambda = -0.0446$로 추정되었다. 이는 상대적 소득 증가가 원화 가치를 절상시키고, 상대적 금리 상승이 원화 절하를 유발한다는 통화론적 모형의 예측과 대체로 부합한다.

6.2 조정 계수 ($\boldsymbol{\alpha}$)

Table 8: 조정 계수 ($\boldsymbol{\alpha}$) 추정 결과

방정식	α	표준오차	z	p-value
Δz	-0.3201	0.0701	-4.565	0.0000***
$\Delta(y - y^*)$	-0.0754	0.0331	-2.275	0.0229**
$\Delta(i - i^*)$	-1.7027	0.4469	-3.810	0.0001***

$\alpha_z = -0.3201$ (유의)이므로, 장기 균형으로부터의 이탈 시 환율이 균형으로 회귀하는 오차수정 메커니즘이 작동함을 실증적으로 확인하였다. 반감기(half-life)는 약 2.2분기(≈ 0.5년)로, 관련 선행연구의 신흥국 환율 조정 속도와 대체로 부합하는 수준이다.

6.3 VECM 잔차 진단

Table 9: VECM 잔차 진단

방정식	Durbin–Watson	Jarque–Bera	p-value
Δz	1.9974	67.44	0.0000***
$\Delta(y - y^*)$	1.9588	197.59	0.0000***
$\Delta(i - i^*)$	2.0049	2.86	0.2399
다변량 검정			
정규성 (Doornik–Hansen)		161.99	0.0000***
Portmanteau(20)		101.65	0.0373**

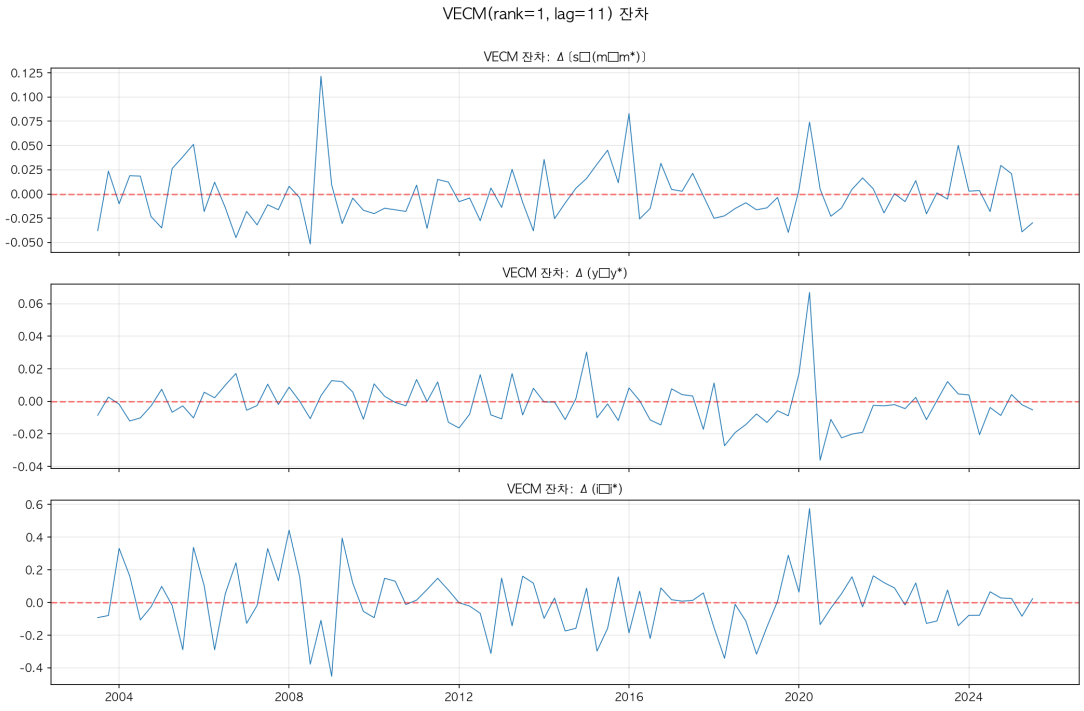

Figure 6: VECM 잔차 시계열

6.4 방정식별 적합도

Table 10: VECM 방정식별 적합도

방정식	R^2	adj. R^2
Δz	0.5541	0.2733
$\Delta(y - y^*)$	0.3835	-0.0047
$\Delta(i - i^*)$	0.7346	0.5675
평균	0.5574	0.2787

로그우도 $= 482.67$, AIC $= -755.33$, BIC $= -494.03$.

7 Granger 인과 검정 (VECM)

VECM 체계 내에서 변수 간 단기 인과력(short-run causality)을 Granger 인과 검정을 통해 분석하였다. 표 11은 χ^2 통계량과 유의확률을 제시한다.

Table 11: VECM Granger 인과 검정

원인	결과	χ^2	p-value
$\Delta(y - y^*)$	Δz	2.6908	0.0027***
$\Delta(i - i^*)$	Δz	1.7753	0.0575*
Δz	$\Delta(y - y^*)$	2.3237	0.0096***
$\Delta(i - i^*)$	$\Delta(y - y^*)$	3.0493	0.0008***
Δz	$\Delta(i - i^*)$	4.1417	0.0000***
$\Delta(y - y^*)$	$\Delta(i - i^*)$	3.2366	0.0004***

주: ***, **, * 는 각각 1%, 5%, 10% 유의수준.

8 충격반응함수

충격반응함수(Impulse Response Function)는 특정 변수에 대한 구조적 충격이 시스템 내 다른 변수들에 전파되는 동태적 경로를 보여준다. 그림 7에는 직교화 충격반응을, 그림 8에는 $z = s - (m - m^*)$에 대한 충격반응을 제시하였다.

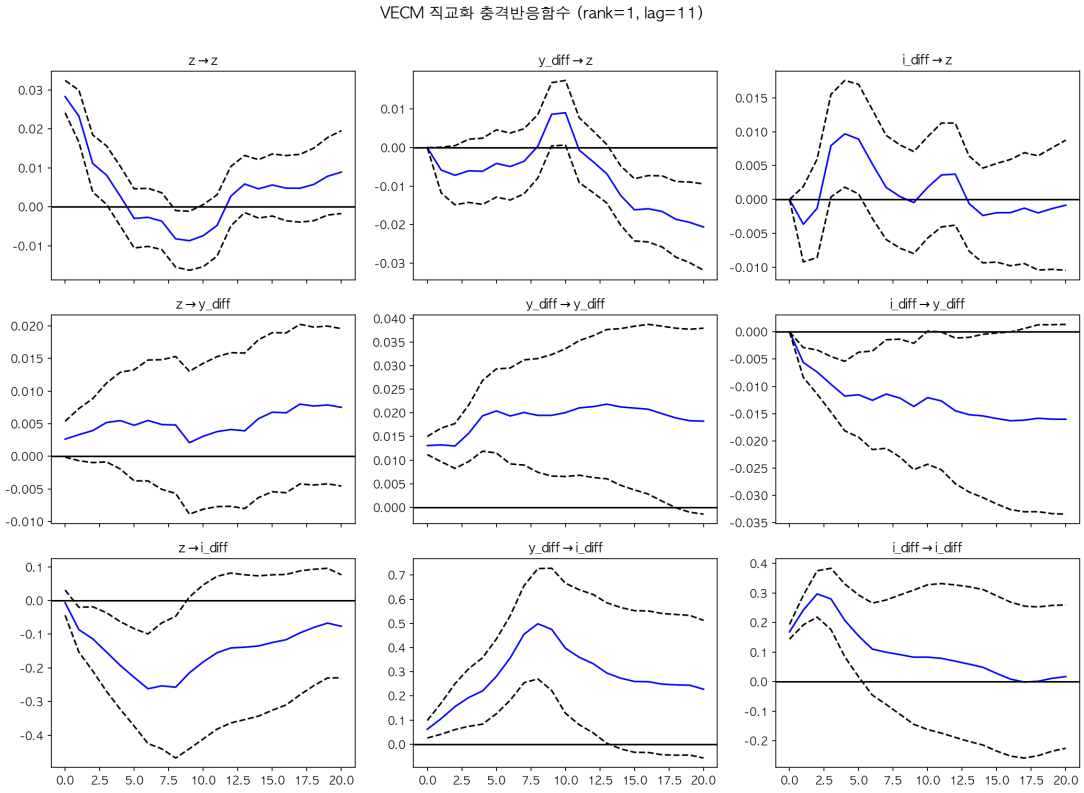

Figure 7: VECM 직교화 충격반응함수

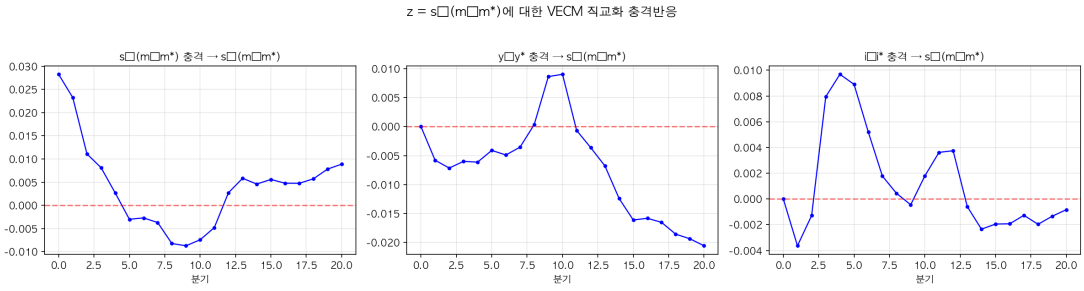

Figure 8: $z = s - (m - m^*)$에 대한 VECM 충격반응

9 분산분해

예측오차 분산분해(Forecast Error Variance Decomposition)는 각 변수의 예측 불확실성이 어떤 충격에 의해 설명되는지를 분석한다. 표 12는 $z = s - (m - m^*)$의 분산이 각 변수의 충격에 의해 어떻게 분해되는지를 기간별로 제시한다.

Table 12: VECM 예측오차 분산분해 — $z = s - (m - m^*)$

기간	$s - (m - m^*)$	$y - y^*$	$i - i^*$
1	0.9661	0.0244	0.0095
4	0.8227	0.0852	0.0921
8	0.7677	0.0999	0.1324
12	0.7208	0.1539	0.1253
20	0.4240	0.5086	0.0674

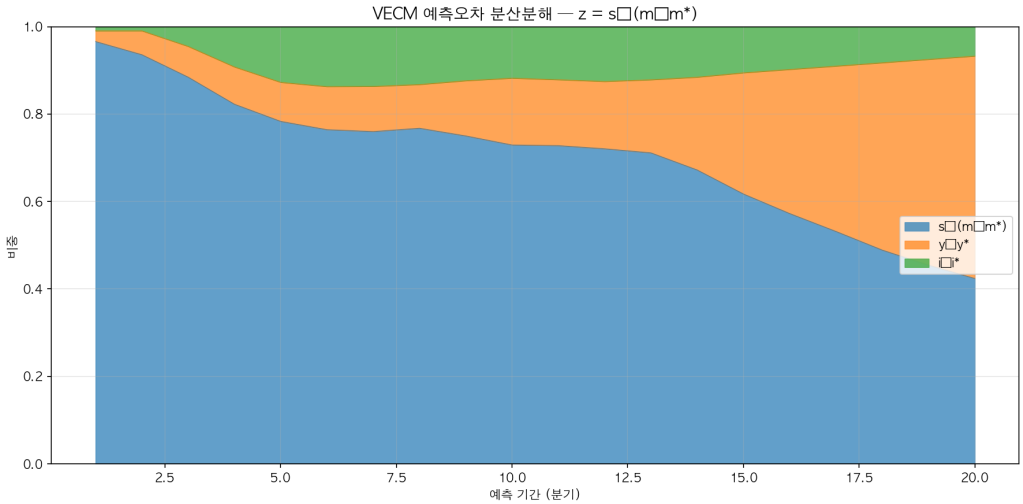

Figure 9: VECM 분산분해 — $z = s - (m - m^*)$

10 오차수정항 (ECT)

오차수정항(Error Correction Term)은 공적분 벡터 $\boldsymbol{\beta}'\mathbf{Y}_t$로 정의되며, 장기 균형으로부터의 이탈 정도를 나타낸다. 그림 10는 ECT의 시계열 추이를 보여주며, 이를 통해 장기 균형에서의 이탈과 회귀 패턴을 시각적으로 확인할 수 있다.

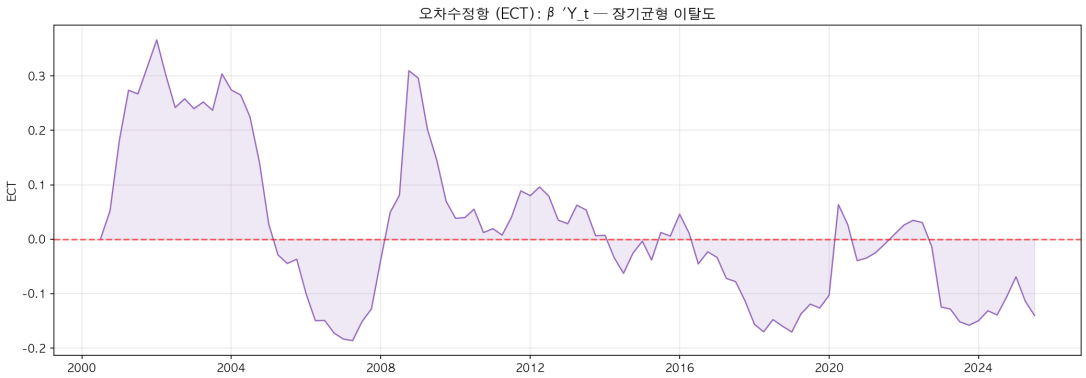

Figure 10: 오차수정항($\boldsymbol{\beta}'\mathbf{Y}_t$) 시계열

11 예측

Table 13: VECM 4분기 예측

	z	$y-y^*$	$i-i^*$	$\hat{s}$	USD/KRW
T+1	2.0556	2.9375	-1.9364	7.2621	1425.21
T+2	2.0547	2.9374	-2.0688	7.2612	1424.00
T+3	2.0598	2.9458	-2.0333	7.2663	1431.30
T+4	2.0720	2.9424	-1.8381	7.2785	1448.80

주: $\hat{s} = z + m_T^{diff}$, USD/KRW $= e^{\hat{s}}$.

12 실제 환율 vs 모형 적합

모형의 실증적 타당성을 평가하기 위해, VECM 적합값에서 역산한 환율과 실제 월별 환율을 비교하였다. 그림 11는 전체 기간의 적합도를, 그림 12는 최근 구간의 예측치를 실제값과 함께 제시한다. 표 14에는 상관계수, RMSE, MAE, MAPE 등 적합도 지표를 정리하였다.

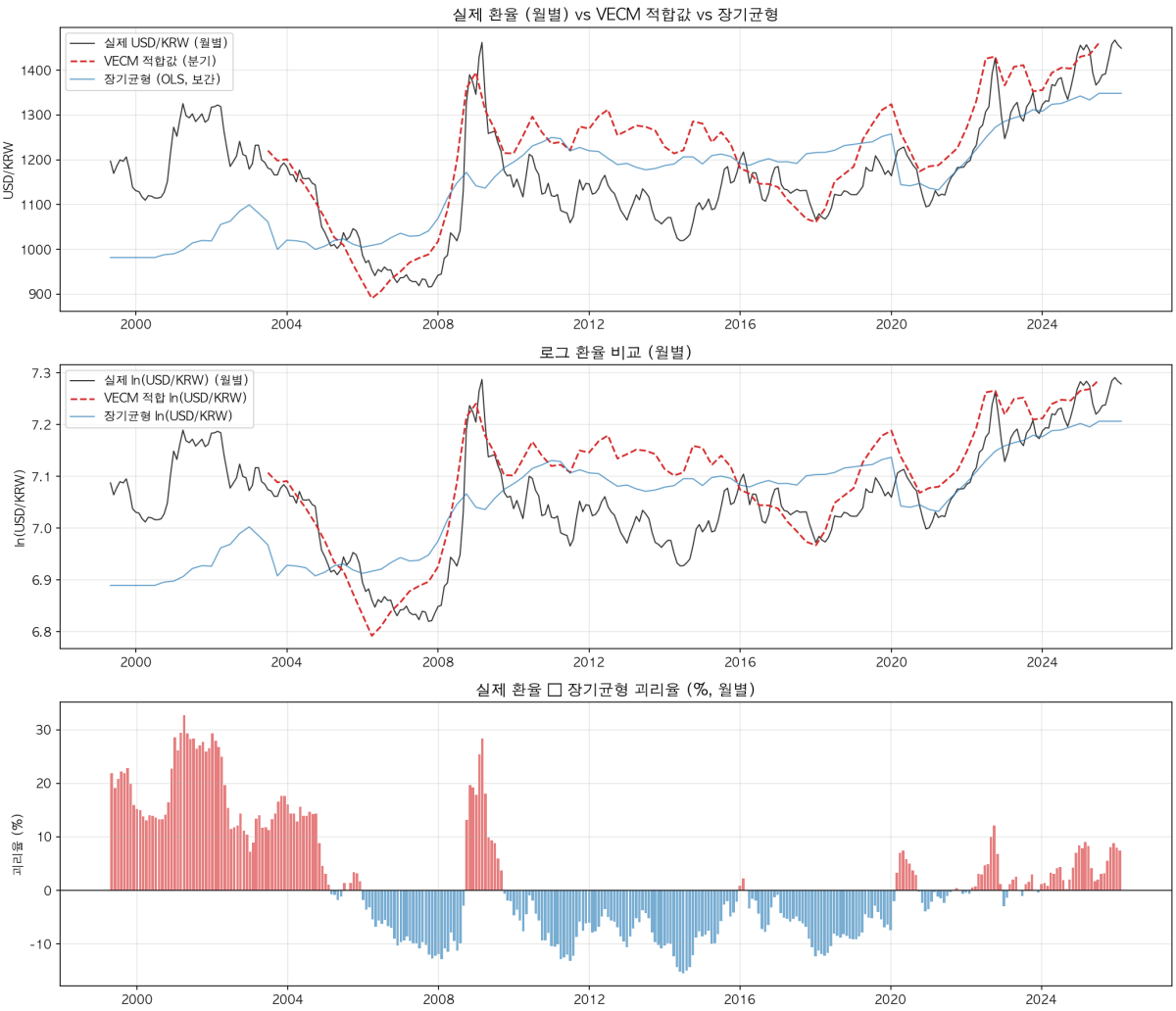

Figure 11: 실제 환율(월별) vs VECM 적합값 vs 장기균형

Figure 12: 최근 환율 추이(월별) 및 VECM 4분기 예측

Table 14: VECM In-sample 적합도

지표	값
상관계수	0.8672
RMSE	91.45원
MAE	72.71원
MAPE	6.47%

13 통계적 유의성 종합 판정

모형의 전반적 신뢰성을 평가하기 위해, 주요 통계적 기준에 따른 종합 판정을 수행하였다. 표 15는 공적분 벡터, 조정 계수, 단기 동학, 적합도, 잔차 진단, Granger 인과에 대한 판정 결과를 요약한다.

Table 15: VECM 통계적 유의성 종합

항목	결과	기준	판정
공적분 벡터 β	4/4 유의	5%	통과
조정 계수 α	3/3 유의	5%	통과
단기 동학 Γ	22/99 유의 (22%)	5%	통과
적합도 R^2	평균 0.557	> 0.3	통과
자기상관	Portmanteau $p = 0.037$	> 0.05	주의
잔차 정규성	1/3 정규	JB 5%	주의
Granger 인과	5/6 유의	5%	통과

최종 판정: 통계적 유의성 양호 — 모형이 타당

14 결론

본 연구는 Frenkel(1976) 및 Bilson(1978)이 제시한 환율의 통화론적 접근법을 이론적 토대로 삼아, 원/달러 환율의 장·단기 결정요인을 벡터오차수정모형(VECM)을 통해 실증적으로 분석하였다. 분석 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. **단위근 및 공적분:** 분석에 사용된 4개 변수는 모두 $I(1)$ 과정을 따르며, 통화량 계수 $\beta_m = 1$ 제약을 부과한 축소 3변수 시스템에서 공적분 랭크 $r = 1$이 Johansen 검정 및 Engle–Granger 검정에 의해 확인되었다. 이는 통화론적 모형이 시사하는 장기 균형 관계가 실제 데이터에서 지지됨을 의미한다.

2. **장기 균형:** 추정된 장기 균형 관계는 $s = (m - m^*) - 0.3830(y - y^*) - 0.0446(i - i^*) - 3.2130$이다. 소득 탄력성과 금리 반탄력성의 부호 및 크기는 통화론적 모형의 이론적 예측과 대체로 부합한다.

3. **오차수정 메커니즘:** 조정 계수 $\alpha_z = -0.3201$이 통계적으로 유의하여, 환율이 장기 균형으로부터 이탈할 경우 균형으로 수렴하는 오차수정 메커니즘이 작동함을 확인하였다. 반감기는 약 2.2분기로 추정되었다.

4. **모형 적합도:** In-sample MAPE는 6.47%로, 거시경제 모형으로서 양호한 적합도를 보였다.

본 연구의 한계로는 다음 사항을 지적할 수 있다. 첫째, 분석 기간이 비교적 짧아 구조 변화(structural break)가 존재할 가능성을 충분히 통제하지 못하였다. 둘째, 통화론적 모형의 기본 가정인 구매력평가(PPP)와 자본이동의 완전성이 현실에서 성립하지 않을 수 있으며, 이에 따른 모형 오차가 내재되어 있다. 셋째, 비선형성이나 비대칭적 조정 메커니즘은 고려하지 않았다.

향후 연구에서는 Markov 전환 VECM, 비선형 공적분(threshold cointegration) 등을 활용하여 구조 변화 및 비대칭적 조정을 포착하거나, 구매력평가 편차를 명시적으로 모형에 포함하는 확장된 통화론적 모형을 검토해 볼 수 있을 것이다.

참고문헌

Bilson, J. F. O. (1978). "The Monetary Approach to the Exchange Rate: Some Empirical Evidence," *IMF Staff Papers*, 25(1), 48–75.

Dickey, D. A. and Fuller, W. A. (1979). "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root," *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431.

Dornbusch, R. (1976). "Expectations and Exchange Rate Dynamics," *Journal of Political Economy*, 84(6), 1161–1176.

Engle, R. F. and Granger, C. W. J. (1987). "Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing," *Econometrica*, 55(2), 251–276.

Frenkel, J. A. (1976). "A Monetary Approach to the Exchange Rate: Doctrinal Aspects and Empirical Evidence," *Scandinavian Journal of Economics*, 78(2), 200–224.

Johansen, S. (1988). "Statistical Analysis of Cointegration Vectors," *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2–3), 231–254.

Johansen, S. (1991). "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models," *Econometrica*, 59(6), 1551–1580.

Johansen, S. (1995). *Likelihood-Based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models*. Oxford University Press.